

基于消除交叉点的蚁群算法锡焊机器人路径优化^①

陈立, 谢富强, 张亮

(南华大学 电气工程学院, 衡阳 421001)

摘要: 针对基本蚁群算法在锡焊机器人路径优化存在交叉点的不足, 提出了一种自动消除焊接路径中交叉点的算法, 将其与蚁群算法融合, 通过增加消除交叉环节, 可以得到更优的焊接路径, 减少焊接电路板的时间消耗. 还针对消除交叉会增加时间代价这一不足, 对消除交叉点算法与蚁群算法融合的方式进行分析研究, 得出时间代价较小, 优化结果较好的融合方式. 通过 200 个焊点的仿真结果表明该算法有较好的效果.

关键词: 蚁群算法; 消除交叉; 路径优化

Soldering Robot Path Optimization Based on Removed Cross Point Ant Colony Algorithm

CHEN Li, XIE Fu-Qiang, ZHANG Liang

(College of Electric Engineering, University of South China, Hengyang 421001, China)

Abstract: Concerning the short comings of ant colony algorithm on soldering robot path optimization, we propose an algorithm to remove cross point on the welding path automatically and fusion it with the ant colony algorithm. By increasing the link in removing cross point, we can get a better welding path, reduce the time consumption of welding circuit board. Because the link in removing cross point will increase the time cost, this paper is to analysis and research the method for fusion of remove cross point algorithm and ant colony algorithm, hoping to find a less time's cost and a fusion method of better optimization results. Simulation of the 200 solder joints, results show that the algorithm has a better effect.

Key words: ant colony algorithm; remove the cross point; path optimization

随着科学技术的发展, 自动化程度日渐提高, 对自动化设备的需求数量越来越多. 电路板作为自动化设备的核心部件, 需求量也越来越大. 电路板上面的元器件不仅种类繁多, 而且数量也十分巨大, 如果单纯依靠人工进行组装, 焊接, 其生产效率远不足以满足需要. 所以有必要利用自动锡焊机器人, 利用蚁群算法优化自动焊接路径, 使焊接时间大幅减少, 生产效率大幅提高.

蚁群算法是 20 世纪 90 年代初期由意大利学者 Colomi 等人^[1]提出的一种仿生算法, 通过模拟自然界中蚂蚁寻找食物时利用其留下的信息素强弱来寻找最优路径. 蚁群算法最早是应用于商旅问题(TSP). 该

算法采用了分布式正反馈并行计算机制, 具有鲁棒性, 已成功的应用于解决组合优化问题^[2], 但基本蚁群算法与一些改进的蚁群算法, 包括最大—最小蚂蚁系统和精英策略, 在优化路径中都存在交叉的情况, 而 TSP 问题的最优解是一个不含交叉路线的闭合回路^[3], 为了解决这一问题, 本文提出了消除路径中交叉点算法并着重对其与蚁群算法融合的方式进行分析研究, 从而得到时间代价较小, 优化结果较好的融合方式, 增强算法的寻优能力.

1 问题描述

在对电路板上的元器件进行焊接时, 锡焊机器人

^① 基金项目:湖南省科技厅项目(2013FJ3154);航天支撑基金项目(2013ZGDZDX)

收稿时间: 2014-10-24;收到修改稿时间:2014-12-01

需要把每一个元器件都焊接到位,而且焊接时行程要尽可能的短.由于每种规格的电路板焊点的位置不同,所以每次焊接时,锡焊机器人必须依靠一种算法,自动对不同的电路板规划出最优的焊接路径.我们可以将此问题用以下的模型描述:

1) 一块电路板有 n 个需要焊接的点 $v_i(x_i, y_i)$, 将这些点的集合称为 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$. 设 d_{ij} 为集合中任意两点之间的距离.

2) 在集合 V 中找到一个不重复的排列顺序 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$, 令 $S = \sum_{i,j>0 \text{ 且 } i \neq j}^{n-1} d(T_i, T_j)$, 求 S 最小值.

假设锡焊机器人移动速度恒定,每一个焊点焊接的时间都相同,总的焊接时间仅与焊接路径的长度正相关.

3) 焊接路径从某一个焊接点开始,遍历每一个需要焊接的点,不经过重复的焊接点.

2 路径优化的蚁群算法

2.1 基本蚁群算法原理

蚁群算法是源于蚂蚁的觅食行为,蚂蚁在寻找食物时会在经过的路径上留下信息素,当某条路径是从蚁穴到食物的较短路径时,通过该条路径的蚂蚁就会较多,该条路径上面的信息素浓度就会较高,以此吸引更多的蚂蚁经过这条路径,通过多次往返,某条最短路径上面的信息素浓度就会非常高,蚁群就会都从这条最优路径上经过,使得整个种群在寻找食物上的时间变短,提高了效率.

2.2 基本蚁群算法实现

1) 禁忌表规则

与实际蚁群不同,人工蚁群系统具有记忆功能^[4],用以记录蚂蚁 k 当前走过的元素(焊点),将这些已经被蚂蚁经过的元素(焊点)坐标记录下来,放入禁忌表中,蚂蚁在一次循环过程中是不能再次经过已经出现在禁忌表上的坐标,当一次循环结束以后,禁忌表被清零,蚂蚁又可以自由的进行选择.

2) 状态转移规则

每只蚂蚁在运动过程中,根据各条路径上的信息素的浓度以及启发信息来计算状态转移概率.表达式如式(1)所示.

$$P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_k(t)]^\beta}{\sum_{s \in allowed_k} [\tau_{is}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{is}(t)]^\beta} & \text{若 } j \in allowed_k \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (1)$$

其中 $allowed_k$ 表示蚂蚁 k 下一次允许移动到的元素(焊点), α 为信息启发式因子,表示轨迹的相对重要性; β 为期望启发式因子,表示能见度的相对重要性^[5,6], $\eta_{ij}(t)$ 为启发函数.

蚁群算法中只有那些属于最短路径上的边信息素才被得到增强^[7].这种规则使得算法在寻找最优路径时更具有目的性:对于最优路径的寻找始终是在当前最短路径的周围进行的.每一个路径信息素强度值由蚁群算法的信息素局部更新规则和全局更新规则进行更新.

2.3 一些改进的蚁群算法

基本蚁群算法可以解决路径优化问题,但同时也存在搜索时间长且易陷入局部最优解是其突出的缺点.虽然为了克服这些不足,人们提出了多种改进的蚁群算法,主要有最大—最小蚂蚁系统^[8]和精英策略^[9].但这些改进的蚁群算法与基本蚁群算法一样,都存在优化路径交叉的情况,为了解决这一问题,在下一章中提出了消除路径中交叉点算法并着重对其与蚁群算法融合的方式进行分析研究.

3 自动消除交叉点算法

无论是基本蚁群算法还是以上两种改进的蚁群算法在优化路径图中,都存在路径交叉的情况,而 TSP 问题的最优解是一个不含交叉路线的闭合回路^[3],根据基本几何知识可知,还存在比这条路径更短的路径,不仅如此,有些交叉点离焊接点距离非常近,焊接机器人在移动的过程中有可能损坏已经焊接好的焊点,如果能够消除这些交叉点就可以避免这种情况的发生,并且得到更优的路径.

3.1 检测交点

要想消除交叉点,首先就得检测出交叉点.寻找交叉点是利用由线段顶点坐标所组成的行列式的值是否为零进行判断,在利用 MATLAB 编写程序时是用直线代替线段的,所以在检测出线段所在的两条直线存在交点以后,还必须判断该交点是否在线段之上,此时只需要将得到的交点坐标与两条线段的四个端点相比较,如果交点在四个端点的确定的四边形之内且不在任意一个端点上面,即可判定该交点在两条线段之上.

3.2 消除交点

在消除交点时还需要注意,不能因为改变路径而

产生新的交叉,所以在消除交点时采用以下方法:例如产生交点的两个线段(i, i+1)与(j, j+1),在消除交叉点之前优化路径为{1,2,3,...,i,i+1,...,j,j+1,...,n},只需要将原路径的(i+1)点与j点之间的(j-i)个点逆序后再放入原优化路径中就可以了,此时改过之后的最优路径变为{1,2,3,...,i,j,j-1,...,i+1,i,j+1,...,n}.经过消除交叉处理后,图1所示路径可以变成图2所示路径.

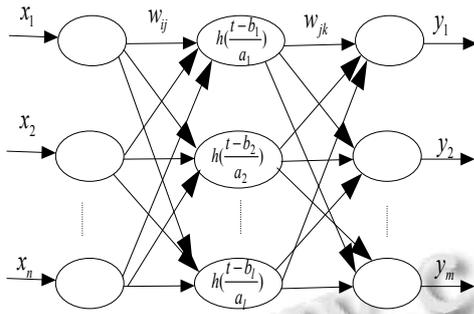


图1 存在交叉的路径

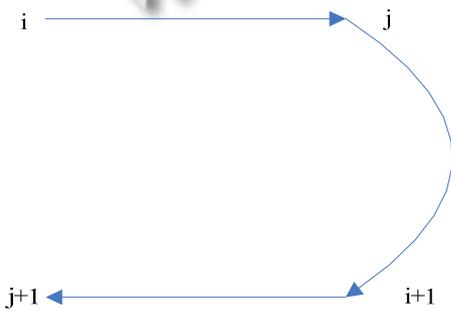


图2 消除交叉后的路径

3.3 消除交叉点算法与蚁群算法融合

消除交叉环节作为一个固定算法,可以提升寻优能力,但同时也会增加程序运行时间,且增加的程序运行时间与消除交叉环节的次数的正相关,所以需要讨论怎样使用最少的消除交叉环节得到最优的焊接路径.为此,将在下一章的实例仿真中讨论添加消除交叉的次数与位置,并通过分析实验数据,得出最优搭配.

4 算法分析与仿真

4.1 仿真环境

仿真环境是 MATLAB R2011b 64 位,计算机系统为 Windows7 64 位,硬件配置为 Intel(R) Core(TM) i3 M350 双核主频 2.27GHz,内存 3GB.编写 MATLAB 程序进行实例仿真,蚁群的循环次数 $Nc_max = 10$,

蚁群数量 $m = 300$, $\alpha = 1$, $\beta = 5$, $\rho = 0.5$.每个程序运行 10 次,对每次测得的数据进行记录,最后计算其平均值.

一个有 200 个焊点的电路板,焊点随机分布,焊点的横坐标范围是 0~50,纵坐标范围是 0~30.单位为毫米(mm).其坐标位置如图 3 所示.

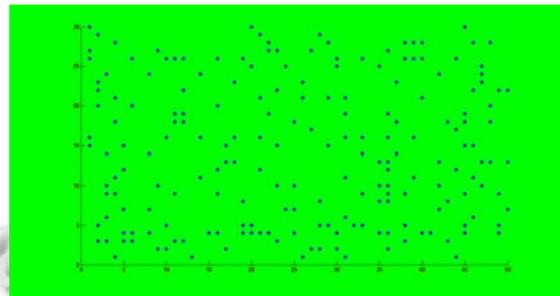


图3 焊点坐标

4.2 消除交叉点算法分析

在实例仿真中,将消除交叉环节作为固定环节添加到蚁群算法中,由于蚁群的循环次数 $Nc_max = 10$,所以最多可以添加 10 次消除交叉环节.结果如表 1 所示.

表 1 实例仿真结果

算法名称	程序运行次数	最优路径平均长度(mm)	程序运行平均时间(s)
基本蚁群算法	10	446	474.24
十次消除交叉环节	10	435	536.83
奇数次消除交叉环节	10	425	492.03
偶数次消除交叉环节	10	436	507.61
前五次消除交叉环节	10	434	496.61
后五次消除交叉环节	10	427	499.75

在表 1 中,后四次算法都是添加了五次消除交叉环节,其消耗的时间比基本蚁群算法要长,但同时比添加了五次消除交叉环节要少,这证实了消除交叉环节的时间开销与其运行的次数正相关.通过十次消除交叉环节算法的数据可以看出,消除交叉的次数并不是越多越好,这主要是因为对迭代路径消除交叉之后,破坏了迭代最优路径的模式,对下一代路径产生了不利影响^[10],所以有必要对消除交叉的次数进行限制,并找到最优的添加位置.

为了探究消除交叉环节不同位置对优化结果的影响,分别将一次消除交叉环节添加到蚁群算法 10 次循

环中的各个部分, 程序同样运行 10 次, 将最优路径长度取平均值, 所得结果如图 4 所示.

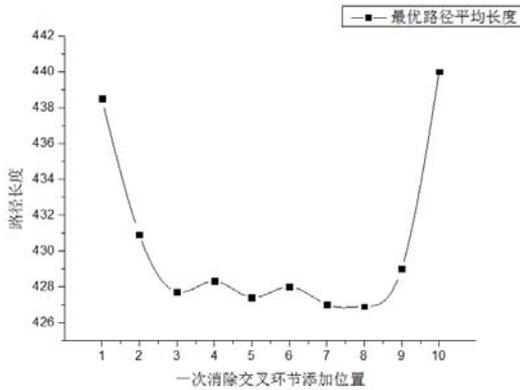


图 4 添加一次消除交叉环节

通过图 4 可以得出添加消除的位置处于 3 至 9 次时效果较好, 这也证明了消除交叉环节对最优路径模式影响较大的地方是迭代的开始和结束部分. 虽然添加一次交叉环节所增加的程序运行时间很少, 但是得到的平均最优值为 426.9, 所以有必要继续增加消除交叉的次数. 通过表 1 可以得出在算法的奇数次添加消除交叉环节可以得到较优的解, 并且由于迭代开始和结束部分添加消除交叉优化效果不好, 于是将添加的两次优化放置在蚁群优化过程中间部分的奇数次中, 程序运行 10 次, 将每次的结果值标记出来, 结果如图 5 所示.

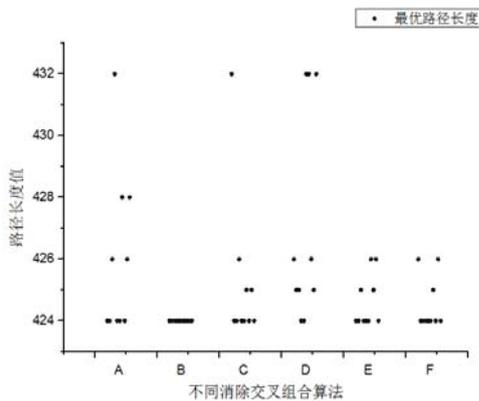


图 5 添加两次消除交叉环节, 其中 A~F 为六种组合, 详见表 2.

表 2 A~F 六种组合

字母名称	组合形式
A	第三次和第五次添加
B	第三次和第七次添加

C	第三次和第九次添加
D	第五次和第七次添加
E	第五次和第九次添加
F	第七次和第九次添加

通过图 5 可以看出 B 组合得到最优解 424 最为稳定, 说明在蚁群算法的第三次和第七次循环时添加消除交叉环节可以比较稳定的得到最优解, 且此时仅比基本蚁群算法多消耗两次消除交叉环节的计算时间. 最后将基本蚁群算法与使用 B 组合的消除交叉蚁群算法进行对比, 数据结果见表 3, 最优路径结果如图 6 和图 7.

表 3 基本蚁群算法与 B 算法数据结果对比

算法名称	基本蚁群算法	B 组消除交叉蚁群算法
程序运行次数	10	10
最优路径平均长度(mm)	446	424
程序运行平均时间(s)	474.24	483.34

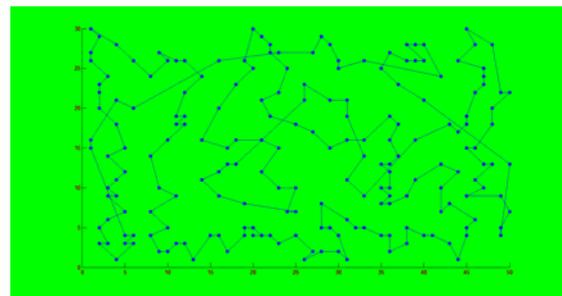


图 6 基本蚁群算法优化路径图

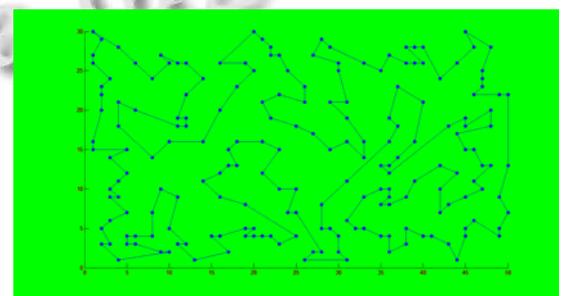


图 7 B 组消除交叉蚁群算法优化路径图

4.2 仿真结果分析

通过比较数据可得消除交叉算法比基本蚁群算法在最优路径上面缩短 4.93%, 程序运行时间增加 1.92%. 综合来看, 通过增加消除交叉算法, 可以使优化路径更短, 但同时会增加程序运行时间, 但是由于在实际生产过程中, 每一种规格的电路板焊接的数量是比较

庞大的,所以在优化路径上面多花的时间与焊接路径优化后大量焊接时节省的时间相比较而言是很短暂的。

5 结语

本文提出了基于消除交叉点的算法,并讨论了增加消除交叉环节的次数与位置对蚁群算法优化结果的影响,通过实验对比,得出了一种比较好的消除交叉组合,并将其用于锡焊机器人焊接路径的自动优化中,优化了路径长度,减少了焊接的时间消耗。进一步提高生产效率。利用本算法得到锡焊机器人的最优路径规划在生产实践中存在一定的实用价值,可以为企业提高生产效率,降低生产成本。

参考文献

- 1 Colomi A, Dorigo M, Maniezzo V, et al. Distributed optimization by ant colonies. Proc. of European Conf on Artificial Life. Paris. 1991. 134-142.
- 2 Yang J, Zhuang Y. An improved ant colony optimization algorithm for solving a complex combinatorial optimization problem. Applied Soft Computing, 2010,10(2): 653-660.
- 3 顾华军,谭庆,李娜娜,等.一种新的求解 TSP 问题智能蚁群优化算法.计算机工程与应用,2007,43(25):69-71.
- 4 庞永杰,唐旭东,李晔.基于改进精英机制的双种群蚁群算法.控制理论与应用,2008,27(2):8-12.
- 5 Dorigo M, Caro GD, Gambardella LM. Ant algorithms for discrete optimization. Artificial Life, 1999, 5(2): 137-172.
- 6 James M, Marcus R. Anti-pheromone as a tool for better exploration of search space. Proc. of 3rd Int Workshop on Ant Algorithms. Brussels. 2002. 100-110.
- 7 倪庆剑,邢汉承,张志政,等.蚁群算法及其应用研究进展.计算机应用与软件,2008,25(8):12-15.
- 8 牟廉明,戴锡笠,李坤等.求解二次指派问题的最优迭代最大最小蚂蚁算法.计算机应用,2014,34(1):199-203.
- 9 宗绍鹏,王锦彪,石刚,等.精英策略蚁群算法在求解 TSP 问题中的应用.中国民航大学学报,2007,25(1):106-107.
- 10 俞靓亮,王万良,介婧.基于混合粒子群优化算法的旅行商问题求解.计算机工程,2010,36(11):183-187.